

УДК 303.732.4

UDC 303.732.4

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ
МНОГОФАКТОРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ
ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ФРАГМЕНТИРОВАННЫХ ЗАШУМЛЕННЫХ
ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ БОЛЬШОЙ
РАЗМЕРНОСТИ В СИСТЕМНО-
КОГНИТИВНОМ АНАЛИЗЕ И
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «ЭЙДОС-
Х++»**

**MODELING COMPLEX MULTIFACTOR
NONLINEAR CONTROL OBJECTS BASED ON
A FRAGMENTED NOISY EMPIRICAL HIGH-
DIMENSIONAL DATA IN A SYSTEM
COGNITIVE ANALYSIS AND IN THE
INTELLECTUAL EIDOS-X++ SYSTEM**

Луценко Евгений Вениаминович
д.э.н., к.т.н., профессор
*Кубанский государственный аграрный универси-
тет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13,
prof.lutsenko@gmail.com*

Lutsenko Evgeny Veniaminovich
Dr.Sci.Econ., Cand.Tech.Sci., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Коржаков Валерий Евгеньевич
к. т. н., доцент
*Адыгейский государственный университет
Адыгея, Россия, korve@yandex.ru*

Korzhaikov Valery Evgenievich
Cand.Tech.Sci., assistant professor
Adygh State University, Adygheya, Russia

Рассмотрено применение Системно-когнитивного анализа и интеллектуальной системы «Эйдос-Х++» для создания моделей сложных многофакторных нелинейных объектов управления на основе зашумленных фрагментированных эмпирических данных большой размерности и для применения этих моделей для решения задач прогнозирования, принятия управляющих решений и исследования моделируемых объектов. Сформулировано системное обобщение принципа Эшби (для нелинейных систем). Приведен численный пример исследования абстрактной нелинейной системы (фигуры Лиссажу), в которой совместное влияние нескольких факторов не является суммой влияний каждого из этих факторов по отдельности, что говорит о невыполнении для этих факторов принципа суперпозиции и нелинейных эффектах в рассматриваемой системе. Показано, что предлагаемый аппарат и программный инструментарий позволяют успешно моделировать подобные системы. Отметим, что предлагаемый аппарат и инструментарий позволяют интерпретировать одни классификационные шкалы, как прогнозируемые географические координаты событий, а другие, как прогнозируемые события и степень их выраженности, что позволяет получить картографическую визуализацию результатов распознавания места и времени событий

In the article, we have considered the application of a system-cognitive analysis and the Eidos-X++ intellectual system to create complex multifactor models of nonlinear control objects on the basis of noisy fragmented empirical data of large dimension and for the use of these models to solve problems of forecasting, executive decision making and research of the model objects. We have formulated the systematic generalization of the principle of Ashby (for nonlinear systems). The numerical example of a study of an abstract nonlinear system (Lissajous figures), in which the combined effect of multiple factors is the sum of the influences of each of these factors separately, that says about non-compliance of these factors, the principle of superposition and nonlinear effects in the system under consideration. It is shown, that the proposed device and software tools allow us to model such systems. We note, that the proposed device and instrumentation allow to interpret some classification scale, as projected geographical coordinates of the event, and others, like the foreseeable events and their severity, which allows you to get cartographic visualization of recognition of the place and time of events

Ключевые слова: АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИСТЕМНО-КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА «ЭЙДОС», МНОГОФАКТОРНЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Keywords: COMPUTERIZED SYSTEM-COGNITIVE ANALYSIS, EIDOS INTELLECTUAL SYSTEM, MULTIFACTOR NONLINEAR OBJECTS OF CONTROL, SIMULATION, FORECASTING, DECISION-MAKING

В современной теории автоматического управления (ТАУ)¹ моделирование многофакторных нелинейных объектов управления представляет собой сложную, в большинстве случаев не разрешимую на практике, математическую и вычислительную проблему. Причинами этой практической неразрешимости являются высокая степень математической сложности моделей и отсутствие численных методов и реализующего их программного инструментария для проведения расчетов.

В тоже время в системно-когнитивном анализе (СК-анализ) и его программном инструментарии – интеллектуальной системе «Эйдос-Х++» эта проблема находит реальное, достаточно простое и технологичное решение.

Рассмотрим последовательно некоторые понятия, используемые в названии статьи.

Начнем с понятия *сложности*, т.к. интуитивно понятно, что чем сложнее система, тем сложнее ей управлять [1]. Фундаментальный принцип, раскрывающий *природу взаимосвязи* между сложностью системы и проблематичностью управления ею предложен одним из основателей кибернетики Уильямом Россом Эшби и в современной науке носит его имя.



Уильям Росс Эшби,
1960 год.

Принцип Эшби: «Управление может быть обеспечено только в том случае, если *разнообразие* средств управляющего (в данном случае всей системы управления) по крайней мере не меньше, чем *разнообразие* управляемой им ситуации»².

Обычно принцип Эшби интерпретируется таким образом, что число факторов в модели должно быть не меньше числа состояний объекта управления.

Принцип Эшби не означает, что если модель объекта управления отражает не все действующие на него факторы³, то управление им будет невозможно, а означает лишь, что в этом случае управление будет не полным, не детерминистским. При этом под фактором фактически понимается значение фактора и неявно предполагается, что каждое будущее состояние объекта управления детерминируется одним значением фактора и между значениями факторов и состояниями существует взаимно-однозначное соответствие, т.е. *по сути, предполагается, что модель объекта управления является детерминистской, факторы не зависят друг от друга (ортонормированны) и не взаимодействуют друг с другом, т.е. по сути, образуют множество, а не систему факторов.*

¹ См., например: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Теория%20автоматического%20управления>

² <http://ru.wikipedia.org/wiki/Эшби,%20Уильям>

³ Факторы, действующие на объект управления делятся на внутренние и внешние, а внешние в свою очередь на технологические факторы, т.е. факторы зависящие от управляющей системы, и факторы окружающей среды, независящие от нее.

Однако если рассматривать объект управления как систему в цикле управления (рисунок 1), то можно интерпретировать признаки как значения факторов, воздействующих на систему, а классы как эмерджентные свойства системы или ее будущие состояния, некоторые из которых являются целевыми, а некоторые нежелательными:

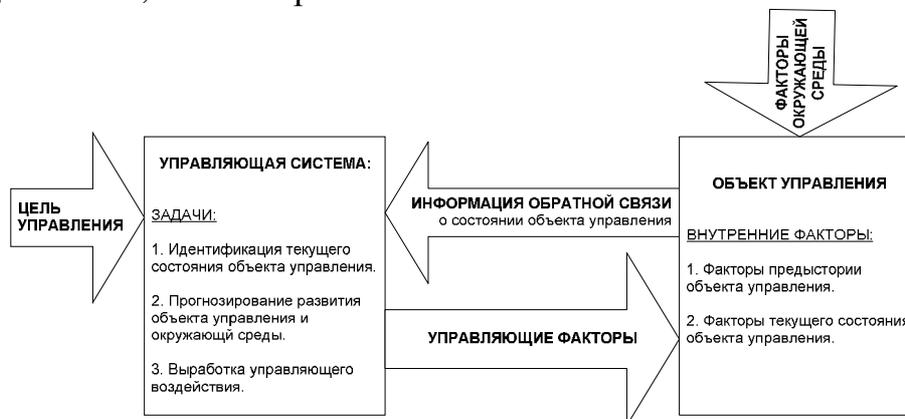


Рисунок 1. Объект управления как система в цикле управления

Это означает, что принцип Эшби может быть обобщен с учетом системных представлений следующим образом:

«Для того чтобы управление было полным (детерминистским) модель объекта управления должна описывать силу и направление влияния на объект управления не меньшего суммарного количества различных сочетаний значений факторов, чем количество возможных будущих состояний объекта управления».

Предлагается также следующая формулировка системного обобщения принципа Эшби: *«Чем больше различных сочетаний значений факторов действует на объект управления, тем выше степень детерминированности управления им».*

Из приведенной выше формулировки системного обобщения принципа Эшби вытекает следствие: *«Степень детерминированности управления системой тем выше, чем выше ее эмерджентность (уровень системности), количественно измеряемая коэффициентом эмерджентности Хартли».*

Если в классическом принципе Эшби объект управления рассматривается как *многофакторный линейный черный ящик⁴*, т.е. черный ящик со многими входами и многими выходами не имеющий никакой внутренней структуры, то в системном обобщении принципа Эшби объект управления рассматривается как *система однофакторных черных ящиков*, каждый из которых имеет один вход и один выход, взаимодействующих между собой и образующих подсистемы, что приводит к нарушению линейности объекта управления. Таким образом, системное обобщение принципа Эшби основано на введении внутренней иерархической структуры черного ящика.

⁴ <http://ru.wikipedia.org/wiki/Чёрный%20ящик>

Объект управления называется линейным, если результат совместного действия на него совокупности факторов равен *сумме* результатов влияния на него каждого из этих факторов по отдельности [2, 3].

Это означает, что *в линейном объекте управления факторы не взаимодействуют между собой внутри объекта управления*, не образуют подсистем детерминации, т.е. по сути, являются не системой, а *множеством* факторов. В *нелинейных* объектах управления факторы образуют *систему* с определенным уровнем системности, с новыми эмерджентными (системными) свойствами, не сводящимися к свойствам факторов, рассматриваемым по отдельности. ***Чем ниже уровень системности (эмерджентность) объекта управления, тем он как система ближе к множеству и к линейности.***

Понятие линейных объектов является предельной абстракцией наподобие материальной математической точки и реально линейных объектов не существует. Но на практике нелинейностью объектов в ряде случаев можно обоснованно и корректно пренебречь, т.к. степень их нелинейности настолько мала, что ее неучет существенно не сказывается на адекватности модели и достоверности решаемых на ее основе задач прогнозирования, принятия решений и исследования моделируемого объекта.

Однако в ряде случаев уровень системности объекта управления настолько высок, что его нелинейностью еже пренебречь нельзя без существенной потери адекватности моделирования и решения перечисленных выше задач. К подобным объектам относятся социально-экономические и социально-психологические системы, а также биологические (в частности экологические) и человеко-машинные системы. Обычно в этом случае подобными объектами пытаются с переменной степенью успешности управлять с использованием слабоформализованных подходов (на основе интуитивных экспертных оценок на основе опыта и профессиональной компетенции, т.е. мягко говоря «на глазок», а грубо говоря «от фонаря» или как сейчас говорят: «в режиме ручного управления») без использования математического моделирования и компьютерных технологий.

Приведем наглядный пример, когда неучет нелинейности объекта управления приводит к некорректным результатам. Рассмотрим *N условных* успешно защищенных диссертаций:

- в 1-й из которых исследуется влияние глубины вспашки на урожайность и качество определенного сорта пшеницы;
- во 2-й – влияние способа вспашки на тоже самое;
- в 3-й – влияние полива;
- в 4-й – дозы определенного вида удобрений;
- в 5-й – способа внесения этих удобрений;
- в 6-й – времени внесения этих удобрений;
- в 7-й – дозы определенного вида средств защиты;
- в 8-й – способа внесения этих средств защиты;

– в 9-й – времени внесения этих средств защиты.

Ясно, что этот список легко продолжить.

В каждой из этих диссертаций на основе многолетних исследований (не менее 5 лет) убедительно показано, что каждый из перечисленных факторов как-то влияет на хозяйственные результаты. Принципиальный вид кривой влияния интенсивности фактора на результат при этом получается очень похожий у всех факторов (для примера на рисунке 2 показаны 3 из них):

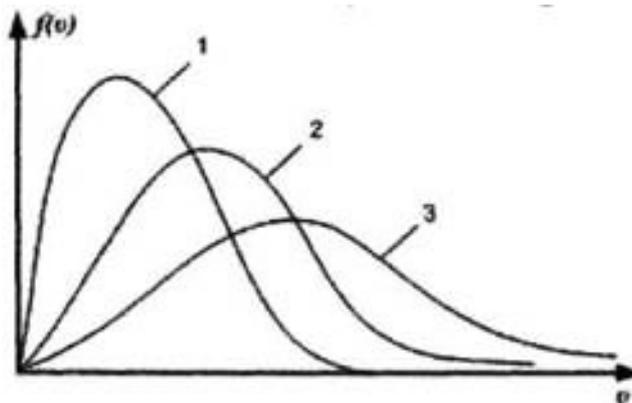


Рисунок 2. Принципиальный вид кривой влияния интенсивности фактора на урожайность или на качество пшеницы⁵.

Например, если по оси X показать интенсивность полива, а по Y урожайность, то график на рисунке 2 можно интерпретировать таким образом, что при полном отсутствии полива урожайность будет минимальной, при его увеличении урожайность будет возрастать, сначала быстро, потом все медленнее, потом достигнет максимума, а потом при дальнейшем увеличении полива она начнет уменьшаться пока опять не достигнет минимума, когда все поле превратится в озеро. *Принципиально важно, что один и тот же полив будет действовать по-разному при условии одновременного действия других факторов, причем при этом смещается точка оптимума, т.е. при действии других факторов оптимальный полив становится другой, в чем и проявляется нелинейность системы и взаимодействие факторов, нарушение для них принципа суперпозиции (кривые 1, 2, 3 на рисунке 2).*

Однако в наших условных диссертациях, не учитывающих результаты друг друга, нелинейность объекта управления игнорируется, и, соответственно, в каждой из них сделаны выводы и предложены рекомендации применять такой-то отдельный фактор в таком-то значении, что, по выводам диссертации, повышает урожайность, например на 3.8%, а качество на 5.2%.

⁵ Источник рисунка: http://san-of-war2.narod.ru/fiziks/fiziks_image481.jpg На самом деле на рисунке показано распределение Максвелла молекул газа по скоростям при разных температурах. Удивительно, но подобный вид имеет влияние интенсивности различных факторов на различные

Теперь представим себе руководителя *реального* хозяйства, который захотел бы воспользоваться рекомендациями ученых и дал задание своим специалистам ознакомиться с предлагаемыми этими учеными рекомендациями по материалам диссертаций, защищенных в данной области науки к примеру за последние 10 лет. Специалисты дотошно выписали из каждой диссертации предлагаемые в ней рекомендации и свели их в общую таблицу с указанием ожидаемой за счет применения рекомендации хозяйственной эффективности⁶, а потом взяли и сложили проценты повышения урожайности и качества. Когда они увидели результат, то сразу поняли, что что-то здесь не то, причем совсем не то. А именно суммарный процент повышения урожайности от одновременного применения всех рекомендаций может составить, например 2500%, т.е. с каждого гектара будет собираться не 50-60 центнеров пшеницы (фактические данные по Краснодарскому краю за 2013 год⁷), а десятки и сотни тонн с гектара.

Ясно, что реальное одновременное применение всех рекомендаций (даже не противоречащих друг другу) никогда не даст подобного повышения, если после этого вообще что-нибудь вырастет. Причина в ярко-выраженной *нелинейности* объекта управления, обусловленной его высоким уровнем системности, т.е. эмерджентностью.

Какие же *выводы* можно сделать из приведенного примера, и какой же *выход* возможен из этой ситуации?

По-видимому, из приведенного примера можно сделать обоснованный вывод о том, что *линейные однофакторные модели сложных многофакторных систем с ярко-выраженной нелинейностью, не имеют уровня адекватности, достаточного для их корректного применения на практике для решения задач прогнозирования и принятия решений*. При этом необходимо отметить, что линейные приближения хорошо проявляют себя в технических системах управления (САУ и АСУ), т.к. технические объекты управления обычно представляют собой практически линейные системы. Напрашиваются и другие выводы, но мы не будем их формулировать, т.к. они выходят за пределы нашей компетентности.

А выход напрашивается сам собой: это *применение системного подхода для исследования подобных сложных объектов управления и создание их системных многофакторных нелинейных моделей*.

Однако реализация этого подхода наталкивается на ряд проблем [9]. Про математические проблемы и проблемы с численными и методами и реализующим их программным обеспечением мы уже упоминали выше. Эти проблемы усугубляются тем, что обычно факторы, влияющие на объ-

⁶ Об экономической эффективности разговор отдельный. Вообще говоря, для достижения хозяйственной и экономической эффективности требуются разные ситуации и обуславливающие их факторы и в условиях рыночной экономики возникает закономерный вопрос о том, насколько оправдано стремиться к высоким хозяйственным результатам неэффективным экономически. В условиях плановой экономики этот вопрос просто не возникал.

⁷ См., например: <http://www.apk-inform.com/ru/news/1018318#.UfYXbl-Ghdg>

ект управления, имеют различную природу и измеряются в различных единицах измерения, а эмпирические данные, на основе которых строятся модели, имеют очень большую размерность, сильно фрагментированы и зашумлены. Поэтому методы и системы классической статистики для решения подобных задач малоприменимы.

Существенным является также «человеческий фактор», состоящий в том, что ученые, руководители и чиновники просто не осведомлены о том, что уже примерно 20 лет существуют и математические модели, и численные методы и программный инструментарий (имеются в виду СК-анализ и система «Эйдос»), основанные на теории информации и методах искусственного интеллекта, которые позволяют корректно решать эти проблемы [4 – 8]⁸. Но на эти методы и инструменты лица, по идее больше всех заинтересованные в их применении, много лет не обращают никакого внимания. Это очень странно еще и потому, что по данной проблематике изданы десятки монографий и сотни статей ряда авторов и защищено много кандидатских и докторских диссертаций в различных областях науки [9]⁹.

Рассмотрим, как учитывается нелинейность моделируемого объекта в СК-анализе и системе «Эйдос».

Пусть объект управления имеет 8 будущих состояний и на его переход в эти состояния оказывают влияние 8 факторов.

В таблице 1 приведен вариант взаимно-однозначного соответствия между состояниями и факторами, когда переход объекта управления в каждое из будущих состояний однозначно определяется действием соответствующего фактора.

При этом не рассматривается вопрос о том, что объект управления может перейти одновременно сразу в несколько будущих состояний, например, на данном поле, для которого сделан прогноз, может быть получен определенный урожай пшеницы некоторого качества. Этот вопрос мы рассмотрим ниже.

Таблица 1 – Взаимосвязь между управляющими факторами и будущими состояниями объекта управления в случае линейного объекта управления

Значения факторов	Классы								Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1								1
2		1							1
3			1						1
4				1					1
5					1				1
6						1			1
7							1		1
8								1	1
9									0
	1	1	1	1	1	1	1	1	8

⁸ См., также: http://lc.kubagro.ru/index_kubagro.htm и <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

⁹ См.: http://lc.kubagro.ru/index_kubagro.htm

В таблице 2 приведен расчет силы и направления влияния управляющих факторов из таблицы 1 на поведение объекта управления в соответствии с математической моделью СК-анализа [6].

Таблица 2 – Сила и направление влияния управляющих факторов на поведение линейного объекта управления в битах

Значения факторов	Классы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3,000							
2		3,000						
3			3,000					
4				3,000				
5					3,000			
6						3,000		
7							3,000	
8								3,000

В СК-анализе силой и направлением влияния фактора является *количество информации*, которое содержится в факте его действия о переходе объекта управления в определенное будущее состояние. Так как в нашем примере состояния равновероятные и их 8, то это количество информации в соответствии с формулой Хартли равно 3.

Теперь рассмотрим случай, когда будущие состояния объекта управления обуславливаются действием не одного, а двух факторов (таблица 3):

Таблица 3 – Взаимосвязь между управляющими факторами и состояниями объекта управления в случае нелинейного объекта управления

Значения факторов	Классы								Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1								1
2	1	1							2
3		1	1						2
4			1	1					2
5				1	1				2
6					1	1			2
7						1	1		2
8							1	1	2
9								1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	16

Для того, чтобы на переход объекта управления в 8-е состояние тоже действовало два фактора введен 9-й фактор.

В таблице 4 приведен расчет силы и направления влияния управляющих факторов из таблицы 3 на поведение объекта управления в соответствии с математической моделью СК-анализа [6, 10]:

$$I_{ij} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{N_{ij}N}{N_i N_j}; I_{ij} = \Psi \cdot \text{Log}_2 \frac{P_{ij}}{P_i}$$

$$N_i = \sum_{j=1}^W N_{ij}; N_j = \sum_{i=1}^M N_{ij};$$

$$N = \sum_{i=1}^M N_i = \sum_{j=1}^W N_j = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^W N_{ij}$$

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j}; P_i = \frac{N_i}{N}$$

где:

I_{ij} – количество информации в факте действия i -го значения фактора о переходе объекта управления в j -е состояние, соответствующее j -му классу;

N_{ij} – суммарное количество наблюдений в исследуемой выборке факта: "действовало i -е значение фактора и объект перешел в j -е состояние";

N_j – суммарное количество встреч различных факторов у объектов, перешедших в j -е состояние;

N_i – суммарное количество встреч i -го фактора у всех объектов исследуемой выборки;

N – суммарное количество встреч различных факторов у всех объектов исследуемой выборки;

P_{ij} – условная относительная частота¹⁰ перехода объекта управления в j -е состояние, соответствующее j -му классу под действием i -го значения фактора;

P_i – безусловная относительная частота наблюдения i -го значения фактора;

Ψ – нормировочный коэффициент, полученный в работе [6] и названный в честь Хартли коэффициентом эмерджентности Хартли;

W – количество классов, т.е. будущих состояний объекта управления;

M – количество значений факторов, обуславливающих будущие состояния объекта управления.

Таблица 4 – Сила и направление влияния управляющих факторов на поведение нелинейного объекта управления в битах

Значения факторов	Классы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2,250							
2	1,500	1,500						
3		1,500	1,500					
4			1,500	1,500				
5				1,500	1,500			
6					1,500	1,500		
7						1,500	1,500	
8							1,500	1,500
9								2,250

¹⁰ Стремящаяся к вероятности при неограниченном увеличении объема выборки

Из таблицы 4 мы видим, что сила влияния факторов на поведение объекта управления уменьшилась в два раза для всех факторов, кроме 1-го, у которого она тоже уменьшилась, но в меньшей степени и является такой же, как у 9-го фактора. Это различие обусловлено тем, что все факторы, кроме 1-го и 9-го, влияют на переход объекта управления в 2 состояния: 2-й фактор на 1-е и 2-е состояния, 3-й – на 2-е и 3-е состояния, и т.д., а 1-й и 9-й факторы влияют на переход только в одно состояние: 1-е и 8-е соответственно.

Это означает, что если с применением системы «Эйдос» создать системно-когнитивную модель влияния на урожайность и качество пшеницы **всех факторов**, исследованных в упомянутых ранее условных диссертациях (а она это позволяет сделать), то сила влияния каждого из них будет такой, какой она указана в этих диссертациях, а значительно меньше, что и полностью решает проблему, сформулированную выше на примере условных диссертаций, и это решение основано на учете нелинейности объекта управления. Подобные модели приведены в монографиях [11, 12]¹¹ и статьях [13-16]. Кроме того необходимо отметить, что в статьях [13-16] впервые построена многофакторная нелинейная модель сложной природно-экономической системы и исследовано влияние технологических и финансово-экономических факторов как на хозяйственные, так и на финансово-экономические результаты.

Теперь рассмотрим как в СК-анализе и системе «Эйдос» моделируется ситуация, когда на объект управления **одновременно** действует несколько факторов и он может перейти **одновременно** сразу в несколько не альтернативных будущих состояний, например, на данном поле, для которого сделан прогноз, может быть получен определенный урожай пшеницы некоторого качества.

На простейших примерах рассмотрим исходную модель, а затем модель, учитывающую *системы* значений факторов и будущих состояний. При этом будем придерживаться схемы обработки данных, информации и знаний в СК-анализе и системе Эйдос-Х++, обоснованной в работах [1-10] и других и приведенной на рисунке 3:

¹¹ Для удобства читателей они размещены на сайте автора: <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

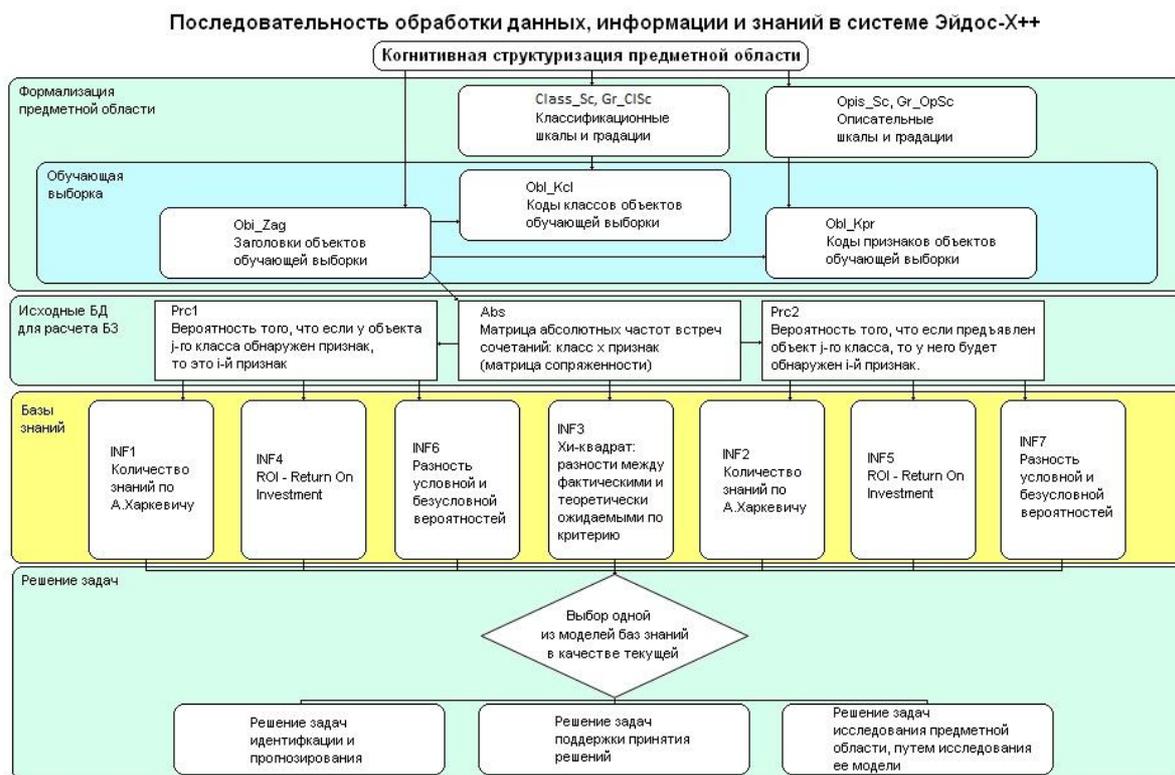


Рисунок 3. Схема обработки данных, информации и знаний в СК-анализе и системе Эйдос-X++

Исходные данные для построения исходной и обобщенной моделей приведены в таблице 5:

Таблица 5 – Исходные данные для построения исходной и обобщенной моделей¹²

Аргумент	Классификационные шкалы		Описательные шкалы	
	A	B	C	D
0	1,0000000	0,0000000	0,0000000	1,0000000
10	0,9396926	0,6427876	345,9431619	0,9396926
20	0,7660444	0,9848078	439,2317423	0,7660444
30	0,5000000	0,8660254	495,4196310	0,5000000
40	0,1736482	0,3420201	535,7552005	0,1736482
50	-0,1736482	-0,3420201	567,2425342	-0,1736482
60	-0,5000000	-0,8660254	593,0737338	-0,5000000
70	-0,7660444	-0,9848078	614,9747120	-0,7660444
80	-0,9396926	-0,6427876	633,9850003	-0,9396926
90	-1,0000000	-0,0000000	650,7794640	-1,0000000
100	-0,9396926	0,6427876	665,8211483	-0,9396926
110	-0,7660444	0,9848078	679,4415866	-0,7660444
120	-0,5000000	0,8660254	691,8863237	-0,5000000
130	-0,1736482	0,3420201	703,3423002	-0,1736482
140	0,1736482	-0,3420201	713,9551352	0,1736482
150	0,5000000	-0,8660254	723,8404739	0,5000000
160	0,7660444	-0,9848078	733,0916878	0,7660444
170	0,9396926	-0,6427876	741,7852515	0,9396926

¹² Авторы сознательно приводят полные исходные данные, промежуточные и результирующие базы данных и формулы расчетов, чтобы при желании можно было проверить все расчеты

180	1,0000000	-0,0000000	749,9845887	1,0000000
190	0,9396926	0,6427876	757,7428828	0,9396926
200	0,7660444	0,9848078	765,1051691	0,7660444
210	0,5000000	0,8660254	772,1099189	0,5000000
220	0,1736482	0,3420201	778,7902559	0,1736482
230	-0,1736482	-0,3420201	785,1749041	-0,1736482
240	-0,5000000	-0,8660254	791,2889336	-0,5000000
250	-0,7660444	-0,9848078	797,1543554	-0,7660444
260	-0,9396926	-0,6427876	802,7905997	-0,9396926
270	-1,0000000	-0,0000000	808,2149041	-1,0000000
280	-0,9396926	0,6427876	813,4426320	-0,9396926
290	-0,7660444	0,9848078	818,4875343	-0,7660444
300	-0,5000000	0,8660254	823,3619677	-0,5000000
310	-0,1736482	0,3420201	828,0770770	-0,1736482
320	0,1736482	-0,3420201	832,6429487	0,1736482
330	0,5000000	-0,8660254	837,0687407	0,5000000
340	0,7660444	-0,9848078	841,3627929	0,7660444
350	0,9396926	-0,6427876	845,5327220	0,9396926
360	1,0000000	-0,0000000	849,5855027	1,0000000

С помощью универсального программного интерфейса ввода данных в систему Эйдос-Х++ из внешних баз данных (режим 2.3.2.2) таблица 5 была автоматически введена в систему из MS Excel при следующих параметрах (рисунки 4-5):

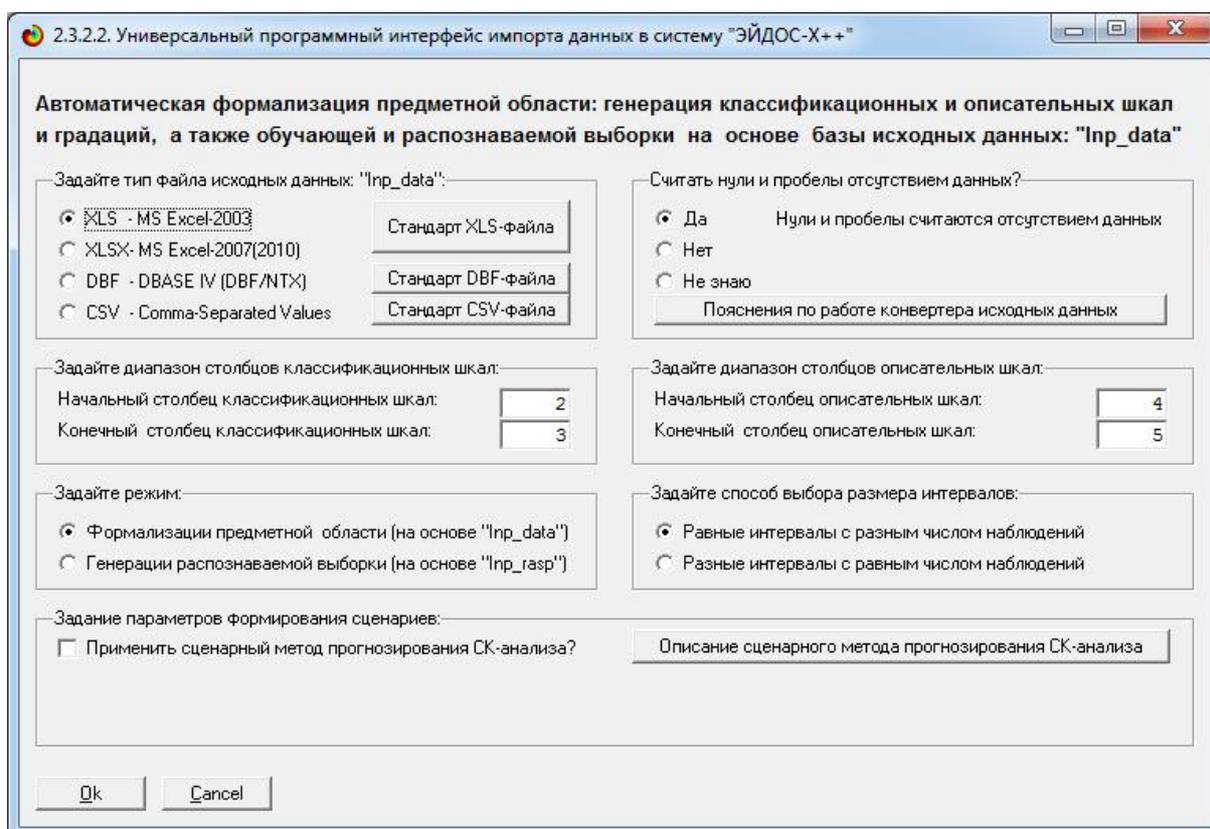


Рисунок 4. Первая экранная форма задания параметров работы универсального программного интерфейса ввода данных в систему Эйдос-Х++ из внешних баз данных

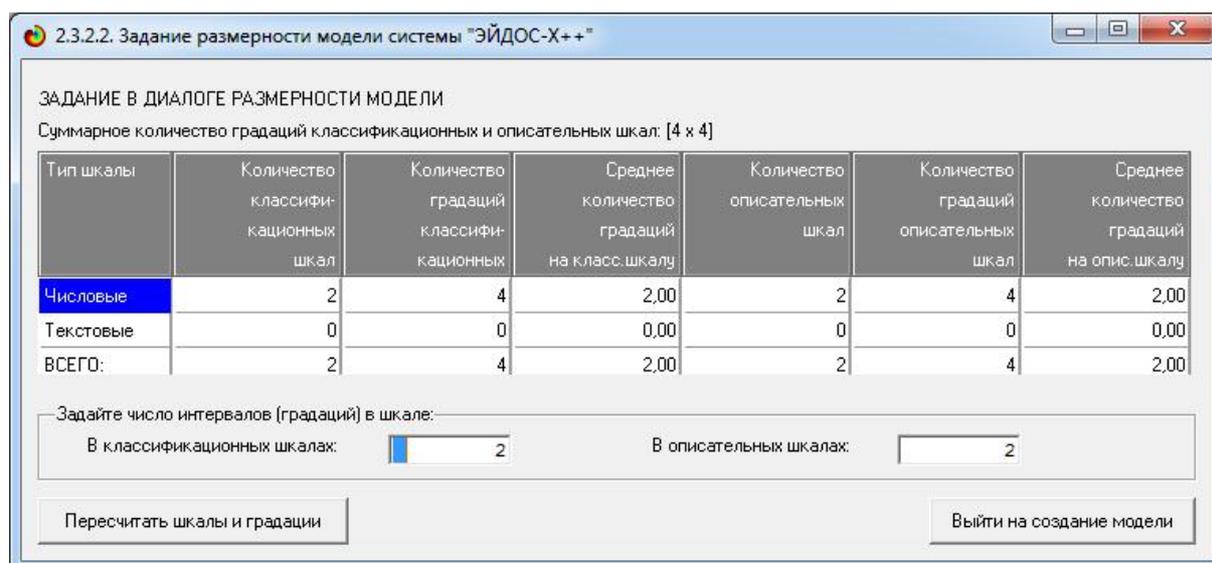


Рисунок 5. Вторая экранная форма задания параметров работы универсального программного интерфейса ввода данных в систему Эйдос-X++ из внешних баз данных

Как видно из рисунка 6, данный режим на основе исходных данных таблицы 5 автоматически формирует классификационные и описательные шкалы и градации и обучающую выборку, т.е. полностью реализует 2-й этап СК-анализа: «Формализация предметной области».

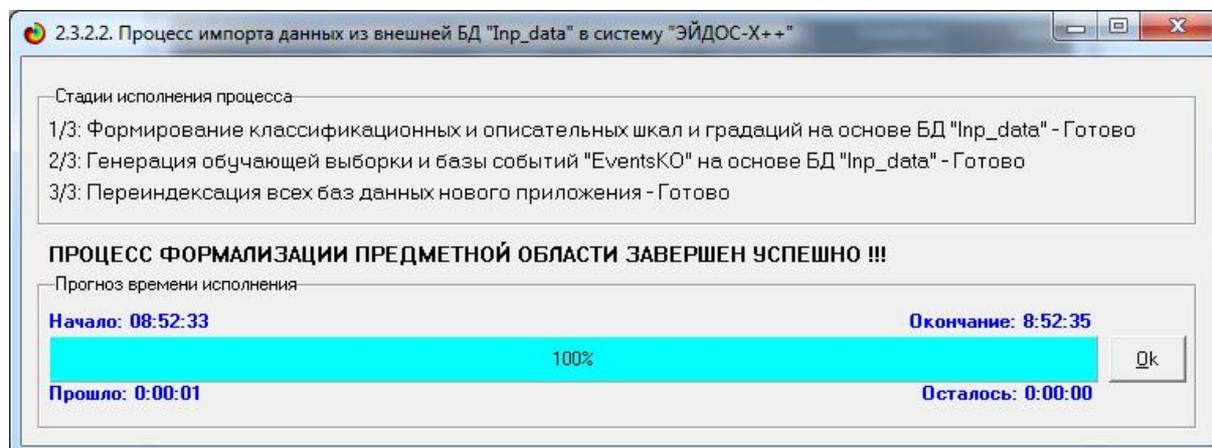


Рисунок 6. Экранная форма отображения стадии работы универсального программного интерфейса ввода данных в систему Эйдос-X++ из внешних баз данных

Необходимо отметить, что данный программный интерфейс был успешно протестирован на больших обучающих выборках, включающих более 800000 объектов обучающей выборки и позволяет строить модели с сотнями тысяч классов и значений факторов как текстовых (лингвистические переменные), так и числовых. Конечно, может возникнуть вопрос о том, для решения каких задач могут потребоваться такие возможности си-

стемы. При проведении исследований, описанных в работе [17], постоянно ощущалась потребность именно в таких возможностях системы.

Затем выполняется режим 3.5 системы Эйдос-Х++, обеспечивающий синтез и верификацию (заданным способом) всех заданных статистических и интеллектуальных моделей (рисунок 7), т.е. реализующий 3-й этап СК-анализа:

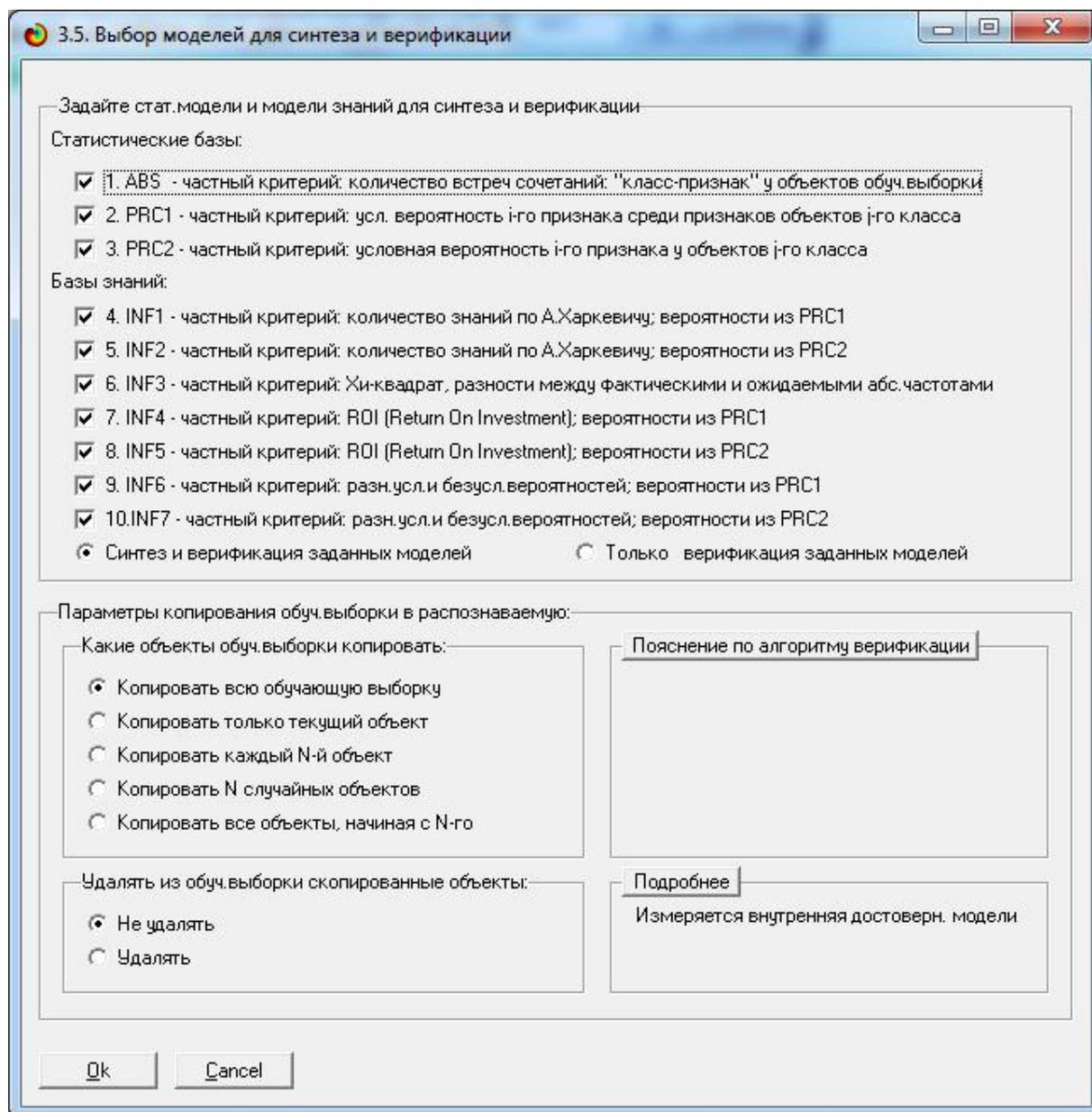


Рисунок 7. Экранная форма режима 3.5 системы Эйдос-Х++, обеспечивающий синтез и верификацию всех заданных статистических и интеллектуальных моделей

На рисунке 8 приведена экранная форма отображения стадии исполнения режима 3.5, в которой приведены основные этапы выполнения данного режима (более детально этапы отображаются в процессе исполнения):

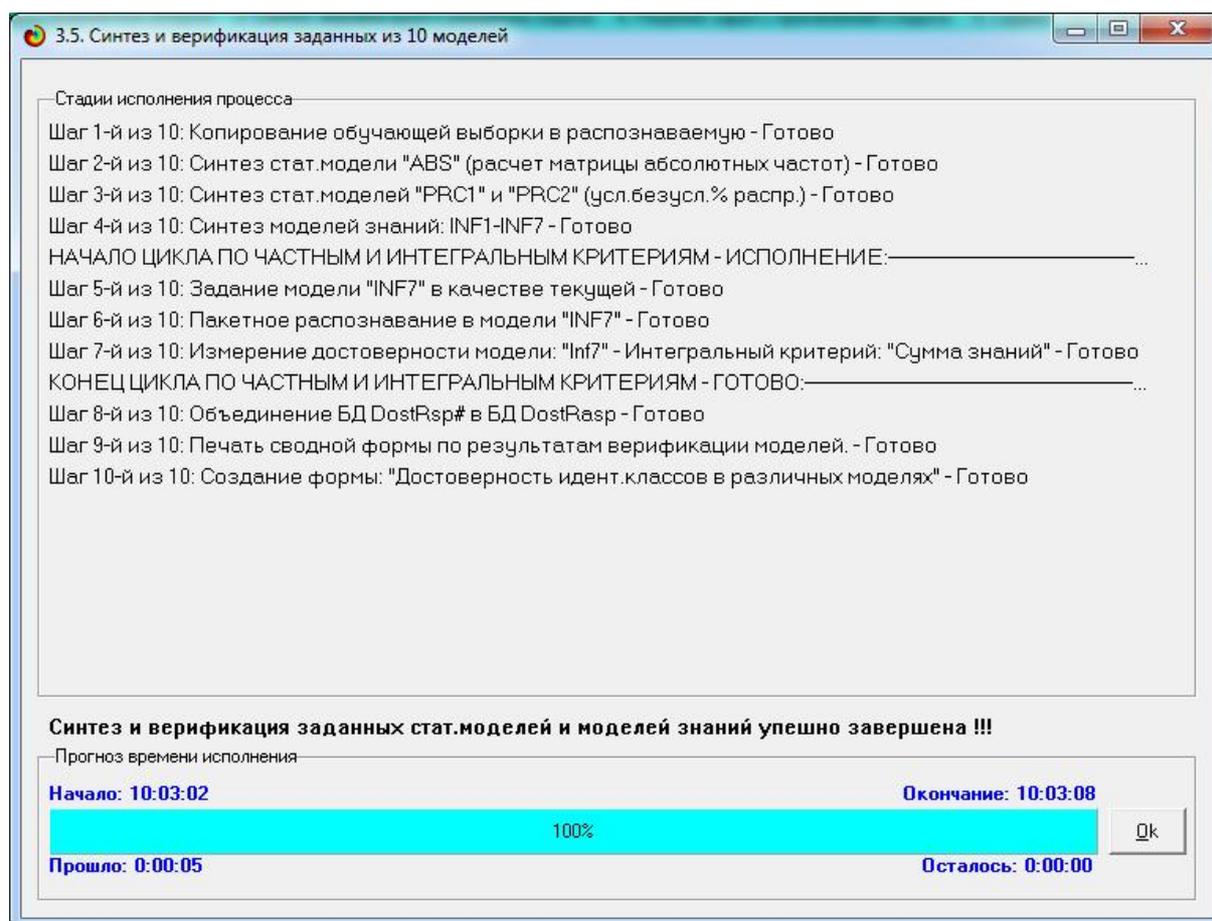


Рисунок 8. Экранная форма отображения стадии исполнения режима синтеза и верификации моделей системы Эйдос-X++

В результате работы этих режимов формируются базы моделей, приведенные ниже.

В таблице 6 приведено 2 классификационных шкалы: **A** и **B**, каждая из которых имеет 2 интервальных значения, т.е. 2 градации, соответствующих будущим состояниям объекта управления:

Таблица 6 – Будущие состояния объекта управления исходной модели

Код	Наименование
1	A -1/2-{-1.0000000, 0.0000000}
2	A -2/2-{0.0000000, 1.0000000}
3	B -1/2-{-0.9848078, 0.0000000}
4	B -2/2-{0.0000000, 0.9848078}

Градации внутри шкал альтернативные, т.е. объект управления не может одновременно находиться в состояниях одной шкалы.

В таблице 7 приведено 2 фактора **C** и **D**, каждый из которых имеет два интервальных значения, т.е. 2 градации:

Таблица 7 – Факторы и их значения исходной модели

Код	Наименование
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}

Градации внутри шкал альтернативные, т.е. на объект управления не может одновременно действовать два разных значения одного фактора.

В таблице 8 приведена обучающая выборка, т.е. таблица исходных данных (таблица 5), закодированная с использованием справочников классов и признаков из таблиц 6 и 7. Строки таблицы 8 соответствуют наблюдаемым состояниям объекта управления (объекты обучающей выборки), в которые он перешел под действием различных сочетаний значений факторов.

Таблица 8 – Обучающая выборка исходной модели

Объект обучающей выборки		Коды классов		Коды значений факторов	
Код	Наименование	кл.1	кл.2	пр.1	пр.2
1	0	2	3	4	
2	10	2	4	1	4
3	20	2	4	1	4
4	30	2	4	1	4
5	40	2	4	1	4
6	50	1	3	1	3
7	60	1	3	1	3
8	70	1	3	2	3
9	80	1	3	2	3
10	90	1	3	2	3
11	100	1	4	2	3
12	110	1	4	2	3
13	120	1	4	2	3
14	130	1	4	2	3
15	140	2	3	2	4
16	150	2	3	2	4
17	160	2	3	2	4
18	170	2	3	2	4
19	180	2	3	2	4
20	190	2	4	2	4
21	200	2	4	2	4
22	210	2	4	2	4
23	220	2	4	2	4
24	230	1	3	2	3
25	240	1	3	2	3
26	250	1	3	2	3
27	260	1	3	2	3
28	270	1	3	2	3
29	280	1	4	2	3
30	290	1	4	2	3
31	300	1	4	2	3
32	310	1	4	2	3
33	320	2	3	2	4
34	330	2	3	2	4
35	340	2	3	2	4
36	350	2	3	2	4
37	360	2	3	2	4

На основе обучающей выборки была сформирована матрица абсолютных частот (таблица 9), а также матрицы условных и безусловных процентных распределений (таблица 10) и базы знаний (таблица 11).

Таблица 9 – Матрица абсолютных частот исходной модели

Значения факторов		Коды классов			
Код	Наименование	1-го	2-го	3-го	4-го
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}	2	4	2	4
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}	16	14	18	12
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}	18	0	10	8
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}	0	19	11	8
Сумма числа признаков		36	37	41	32
Сумма числа объектов обуч.выборки		18	19	21	16

Таблица 9 содержит абсолютные частоты, отражающие сколько раз наблюдалось действие определенного значения фактора *в случае*, когда объект управления перешел в определенное состояние, соответствующее классу.

На основе таблицы 9 в соответствии с приведенными выше формулами рассчитываются матрицы условных и безусловных процентных распределений (в таблице 10 приведена одна из двух матриц):

Таблица 10 – Матрица условных и безусловных процентных распределений исходной модели

Код	Наименование	Условные процентные распределения в группах, соответствующих классам				Процентное распределение по всей выборке (безусловное)
		1-й кл	2-й кл.	3-й кл.	4-й кл.	
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}	5,556	10,811	4,878	12,500	8,219
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}	44,444	37,838	43,902	37,500	41,096
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}	50,000	0,000	24,390	25,000	24,658
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}	0,000	51,351	26,829	25,000	26,027

На основе таблицы 10 или непосредственно на основе таблицы 9 рассчитываются базы знаний, одна из которых (Inf1) представлена в таблице 11:

Таблица 11 – База знаний исходной модели о силе и направлении влияния значений факторов на поведение объекта управления основе модифицированного коэффициента А.Харкевича в миллибитах

Код	Наименование	Сила и направление влияния значений факторов			
		1-й кл	2-й кл.	3-й кл.	4-й кл.
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}	-157	110	-209	168
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}	31	-33	27	-37
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}	284		-4	6
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}		273	12	-16

Таблица 10 содержит информацию о силе и направлении влияния значений факторов на поведение объекта управления основе модифицированного коэффициента А.Харкевича в битах.

Теперь обобщим данную модель, введя в нее системы значений факторов и системы будущих состояний объекта управления. Рассмотрим простейший вариант, когда эти системы включают всего по два значения факторов и по два простых будущих состояния. Но система Эйдос-Х++ позволяет моделировать поведение сложных объектов управления, включающих *сотни тысяч* будущих состояний и *сотни тысяч* значений факторов (база знаний, аналогичная приведенной в таблице 10, занимает при такой размерности модели около 240 Гб)¹³. Ранее существовавшие ограничения на размерность модели и размеры баз данных [4, 5] *полностью* преодолены в системе Эйдос-Х++, в чем и состоит одна из причин ее разработки. Ограничение на размерность баз данных накладываются только емкостью внешней памяти и вычислительной мощностью компьютера. Рассмотрим проявление нелинейности объекта управления и моделирование этой нелинейности в интеллектуальных моделях сравнив базы знаний в исходной и обобщенной моделях.

Приведем таблицы обобщенной модели (таблицы 12-17).

Чтобы получить после выполнения режима 2.3.2.2 ввода данных из внешних баз данных перед режимом синтезом и верификацией моделей в режиме 3.5 выполняются последовательно еще два режима 3.7.7 и 3.7.8, обеспечивающие формирование систем классов и значений факторов (рисунки 9 и 10):

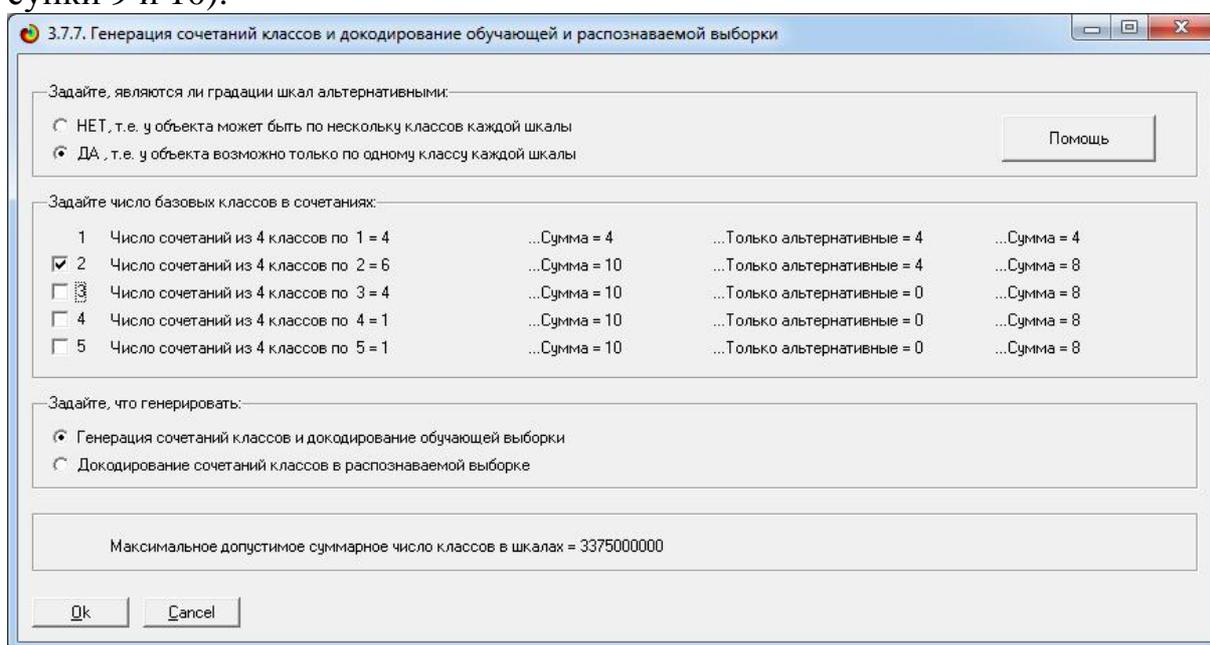


Рисунок 9. Экранная форма режима формирования сочетаний классов и декодирования обучающей выборки системы Эйдос-Х++

¹³ Время создания такой базы на современном персональном компьютере с процессором I7 на обычном винчестере составляет около 30 минут. Отметим, что количество *нечетких продукций с расчетной на основе эмпирических данных степенью истинности* оставляет 10 миллиардов, тогда как максимальное количество классических продукций с двумя вариантами истинности: .Т., .F. (которые еще должен сообщить эксперт) по литературным данным (http://itmu.vsuet.ru/Posobija/Predstavlenie_znan/htm/2_t.htm) для экспертных систем составляет 1000-10000, т.е. в **миллион (!)** или даже 10 миллионов раз меньше.

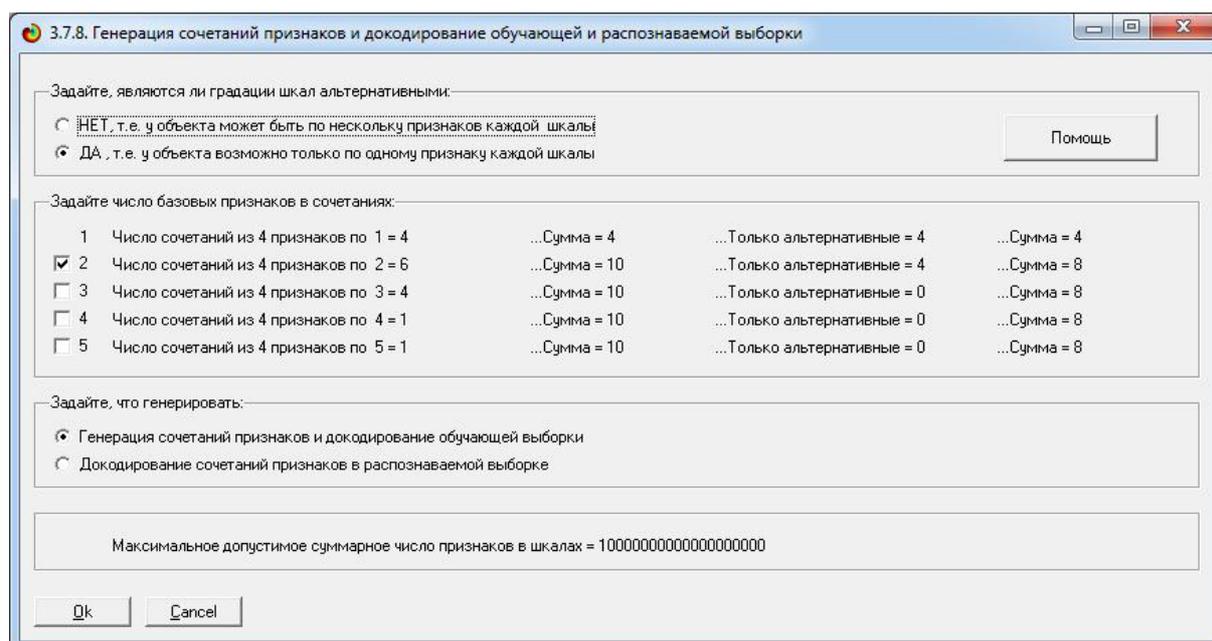


Рисунок 10. Экранная форма режима формирования сочетаний значений факторов и декодирования обучающей выборки системы Эйдос-X++

В результате выполнения этих режимов аналогично исходной модели формируются следующие базы данных обобщенной модели:

Таблица 12 – Будущие состояния объекта управления обобщенной модели

Код	Наименование
1	A-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}
2	A-2/2-{0.0000000, 1.0000000}
3	B-1/2-{-0.9848078, 0.0000000}
4	B-2/2-{0.0000000, 0.9848078}
5	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-1,3
6	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-1,4
7	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-2,3
8	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КЛАССОВ-2,4

Таблица 13 – Факторы и их значения обобщенной модели

Код	Наименование
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}
5	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3
6	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4
7	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3
8	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4

Таблица 14 – Обучающая выборка обобщенной модели

Объект обучающей выборки		Коды классов			Коды значений факторов		
Код	Наименование	Кл.1	Кл.2	Кл.3	Пр.1	Пр.2	Пр.3
1	0	2	3	7	4		
2	10	2	4	8	1	4	6
3	20	2	4	8	1	4	6
4	30	2	4	8	1	4	6
5	40	2	4	8	1	4	6
6	50	1	3	5	1	3	5
7	60	1	3	5	1	3	5
8	70	1	3	5	2	3	7
9	80	1	3	5	2	3	7
10	90	1	3	5	2	3	7
11	100	1	4	6	2	3	7
12	110	1	4	6	2	3	7
13	120	1	4	6	2	3	7
14	130	1	4	6	2	3	7
15	140	2	3	7	2	4	8
16	150	2	3	7	2	4	8
17	160	2	3	7	2	4	8
18	170	2	3	7	2	4	8
19	180	2	3	7	2	4	8
20	190	2	4	8	2	4	8
21	200	2	4	8	2	4	8
22	210	2	4	8	2	4	8
23	220	2	4	8	2	4	8
24	230	1	3	5	2	3	7
25	240	1	3	5	2	3	7
26	250	1	3	5	2	3	7
27	260	1	3	5	2	3	7
28	270	1	3	5	2	3	7
29	280	1	4	6	2	3	7
30	290	1	4	6	2	3	7
31	300	1	4	6	2	3	7
32	310	1	4	6	2	3	7
33	320	2	3	7	2	4	8
34	330	2	3	7	2	4	8
35	340	2	3	7	2	4	8
36	350	2	3	7	2	4	8
37	360	2	3	7	2	4	8

Таблица 15 – Матрица абсолютных частот обобщенной модели

Значения факторов		Коды классов							
Код	Наименование	1-го	2-го	3-го	4-го	5-го: 1,3	6-го: 1,4	7-го: 2,3	8-го: 2,4
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}	2	4	2	4	2	0	0	4
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}	16	14	18	12	8	8	10	4
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}	18	0	10	8	10	8	0	0
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}	0	19	11	8	0	0	11	8
5	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3	2	0	2	0	2	0	0	0
6	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4	0	4	0	4	0	0	0	4
7	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3	16	0	8	8	8	8	0	0
8	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4	0	14	10	4	0	0	10	4
0	Сумма числа признаков	54	55	61	48	30	24	31	24
0	Сумма числа объектов обуч.выборки	18	19	21	16	10	8	11	8

Таблица 16 – Матрица условных и безусловных процентных распределений обобщенной модели

Код	Наименование	Условные процентные распределения в группах, соответствующих классам								Процентное распределение по всей выборке (безусловное)
		1-го	2-го	3-го	4-го	5-го: 1,3	6-го: 1,4	7-го: 2,3	8-го: 2,4	
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}	3,7	7,3	3,3	8,3	6,7	0,0	0,0	16,7	5,5
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}	29,6	25,5	29,5	25,0	26,7	33,3	32,3	16,7	27,5
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}	33,3	0,0	16,4	16,7	33,3	33,3	0,0	0,0	16,5
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}	0,0	34,5	18,0	16,7	0,0	0,0	35,5	33,3	17,4
5	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3	3,7	0,0	3,3	0,0	6,7	0,0	0,0	0,0	1,8
6	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4	0,0	7,3	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	16,7	3,7
7	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3	29,6	0,0	13,1	16,7	26,7	33,3	0,0	0,0	14,7
8	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4	0,0	25,5	16,4	8,3	0,0	0,0	32,3	16,7	12,8

Таблица 17 – База знаний обобщенной модели о силе и направлении влияния значений факторов на поведение объекта управления основе модифицированного коэффициента А.Харкевича в миллибитах

Код	Наименование	Сила и направление влияния значений факторов							
		1-го	2-го	3-го	4-го	5-го: 1,3	6-го: 1,4	7-го: 2,3	8-го: 2,4
1	C-1/2-{345.9431619, 597.7643323}	-205	144	-268	215	99			574
2	C-2/2-{597.7643323, 849.5855027}	38	-40	36	-50	-16	99	82	-260
3	D-1/2-{-1.0000000, 0.0000000}	364		-4	5	364	364		
4	D-2/2-{0.0000000, 1.0000000}		354	18	-23			368	336
5	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,3	364		301		668			
6	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-1,4		354		425				784
7	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,3	364		-58	66	309	425		
8	ПОДСИСТЕМЫ ИЗ 2 АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ-2,4		354	126	-224			477	135

Проведем сравнение исходной и обобщенной моделей.

Сочетанные факторы моделируют одновременное воздействие на объект управления нескольких не альтернативных факторов, т.е. позволяют отразить в модели сложный многопараметрический характер объекта управления.

Сочетанные классы моделируют одновременный переход объекта управления сразу в несколько не альтернативных состояний, т.е. пользуясь аналогией с квантовой механикой [6, 18] – переход в смешанное состояние. Сочетанные классы встречаются не чаще, чем простые исходные, из которых они состоят.

Вспомним определение линейного объекта управления: это такой объект, что при влиянии на который совокупности факторов¹⁴ их совмест-

¹⁴ Не системы, а именно совокупности, т.к. факторы не взаимодействуют друг с другом внутри линейного объекта управления

ное влияние на выходные параметры этого объекта является суммой влияний каждого из этих факторов в отдельности.

Одного взгляда на таблицу 17 достаточно, чтобы убедиться, что для нашего объекта управления это не так, т.е. он является нелинейным и модель СК-анализа обеспечивает моделирование его нелинейности.

Приведем некоторые примеры:

– 1-е значение фактора препятствует переходу объекта управления в 1-е и 3-е состояния, но слабо способствует одновременному его переходу в эти состояния, т.е. в состояние 5;

– 1-е значение фактора способствует переходу объекта управления во 2-е и 4-е состояния и сильно способствует одновременному его переходу в эти состояния, т.е. в состояние 8;

– 1-е и 3-е значения факторов, действующие одновременно, т.е. 5-е сочетанное значение фактора, сильно способствуют переходу объекта управления в 5-е сочетанное состояние, переходу в которое способствуют, но не на столько сильно и отдельно действующие 1-е и 3-е значения факторов, *но сила их совместного влияния не равна сумме сил влияния составляющих значений факторов по отдельности: $99+364=463 < 668$* , т.е. *сумма раздельного влияния значений факторов меньше силы их совместно влияния;*

– 2-е и 3-е значения факторов, действующие одновременно, т.е. 7-е сочетанное значение фактора, сильно способствуют переходу объекта управления в 6-е сочетанное состояние, переходу в которое способствуют, но не на столько сильно и отдельно действующие 2-е и 3-е значения факторов, *но сила их совместного влияния не равна сумме сил влияния каждого из них по отдельности: $99+364=463 > 425$ и эта сумма силы влияния отдельно действующих факторов больше силы их совместно влияния на этот переход.*

Выводы

Рассмотрено применение Системно-когнитивного анализа и интеллектуальной системы «Эйдос-Х++» для создания моделей сложных многофакторных нелинейных объектов управления на основе зашумленных фрагментированных эмпирических данных большой размерности и для применения этих моделей для решения задач прогнозирования, принятия управляющих решений и исследования моделируемых объектов. Сформулировано системное обобщение принципа Эшби (для нелинейных систем). Приведен численный пример исследования абстрактной нелинейной системы (фигуры Лиссажу), в которой совместное влияние нескольких факторов не является суммой влияний каждого из этих факторов по отдельности, что говорит о невыполнении для этих факторов принципа суперпозиции и нелинейных эффектах в рассматриваемой системе. Показано, что предлагаемый аппарат и программный инструментарий позволяют успешно моделировать подобные системы. Отметим, что предлагаемый аппарат

и инструментарий позволяют интерпретировать одни классификационные шкалы, как прогнозируемые географические координаты событий, а другие, как прогнозируемые события и степень их выраженности, что позволяет получить картографическую визуализацию результатов распознавания места и времени событий.

Список литературы¹⁵

1. Луценко Е.В. Исследование влияния подсистем различных уровней иерархии на эмерджентные свойства системы в целом с применением АСК-анализа и интеллектуальной системы "Эйдос" (микроструктура системы как фактор управления ее макросвойствами) / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №01(075). С. 638 – 680. – Шифр Информрегистра: 0421200012\0025, IDA [article ID]: 0751201052. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/01/pdf/52.pdf>, 2,688 у.п.л.
2. Луценко Е.В. Методологические аспекты выявления, представления и использования знаний в АСК-анализе и интеллектуальной системе «Эйдос» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №06(70). С. 233 – 280. – Шифр Информрегистра: 0421100012\0197. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/06/pdf/18.pdf>, 3 у.п.л.
3. Луценко Е.В. Метод когнитивной кластеризации или кластеризация на основе знаний (кластеризация в системно-когнитивном анализе и интеллектуальной системе «Эйдос») / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – №07(71). С. 528 – 576. – Шифр Информрегистра: 0421100012\0253. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/40.pdf>, 3,062 у.п.л.
4. Луценко Е.В. 30 лет системе «Эйдос» – одной из старейших отечественных универсальных систем искусственного интеллекта, широко применяемых и развивающихся и в настоящее время / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №10(054). С. 48 – 77. – Шифр Информрегистра: 0420900012\0110, IDA [article ID]: 0540910004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2009/10/pdf/04.pdf>, 1,875 у.п.л.
5. Луценко Е.В. Универсальная когнитивная аналитическая система «Эйдос-Х++» / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №09(083). С. 328 – 356. – IDA [article ID]: 0831209025. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/09/pdf/25.pdf>, 1,812 у.п.л.
6. Луценко Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2002. – 605 с.
7. Луценко Е.В. Универсальная автоматизированная система распознавания образов "ЭЙДОС". Свидетельство РосАПО №940217. Заяв. № 940103. Опубл. 11.05.94. – 50с.

¹⁵ Для удобства читателей некоторые монографии из списка литературы размещены на сайте автора: <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>

8. Луценко Е.В. Универсальная автоматизированная система анализа, мониторинга и прогнозирования состояний многопараметрических динамических систем "ЭЙДОС-Т". Свидетельство РосАПО №940328. Заяв. № 940324. Оpubл. 18.08.94. – 50с.

9. Луценко Е.В. Теоретические основы, технология и инструментарий автоматизированного системно-когнитивного анализа и возможности его применения для сопоставимой оценки эффективности вузов / Е.В. Луценко, В.Е. Коржаков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №04(088). С. 340 – 359. – IDA [article ID]: 0881304022. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/04/pdf/22.pdf>, 1,25 у.п.л.

10. Луценко Е.В. Математическая сущность системной теории информации (СТИ) (Системное обобщение формулы Больцмана-Найквиста-Хартли, синтез семантической теории информации Харкевича и теории информации Шеннона) / Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2008. – №08(042). С. 76 – 103. – Шифр Информрегистр: 0420800012\0114, IDA [article ID]: 0420808004. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2008/08/pdf/04.pdf>, 1,75 у.п.л.

11. Луценко Е.В., Лойко В.И., Семантические информационные модели управления агропромышленным комплексом. Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ. 2005. – 480 с.

12. Луценко Е. В., Лойко В.И., Великанова Л.О. Прогнозирование и принятие решений в растениеводстве с применением технологий искусственного интеллекта: Монография (научное издание). – Краснодар: КубГАУ, 2008. – 257 с.

13. Луценко Е.В. Синтез системно-когнитивной модели природно-экономической системы и ее использование для прогнозирования и управления в зерновом производстве (Часть 1 – постановка задачи) / Е.В. Луценко, К.Н. Горпинченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №05(089). С. 1280 – 1293. – IDA [article ID]: 0891305089. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/89.pdf>, 0,875 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,266

14. Луценко Е.В. Синтез системно-когнитивной модели природно-экономической системы и ее использование для прогнозирования и управления в зерновом производстве (Часть 2 – преобразование эмпирических данных в информацию) / Е.В. Луценко, К.Н. Горпинченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №05(089). С. 1294 – 1312. – IDA [article ID]: 0891305090. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/90.pdf>, 1,188 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,266

15. Луценко Е.В. Синтез системно-когнитивной модели природно-экономической системы, ее использование для прогнозирования и управления в зерновом производстве (Часть 3 – прогнозирование и принятие решений) / Е.В. Луценко, К.Н. Горпинченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №06(090). С. 864 – 873. – IDA [article ID]: 0901306059. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/59.pdf>, 0,625 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,266

16. Луценко Е.В. Синтез системно-когнитивной модели природно-экономической системы, ее использование для прогнозирования и управления в зерновом производстве (4 часть – исследование объекта моделирования путем исследования его модели) / Е.В. Луценко, К.Н. Горпинченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №06(090). С. 874 – 894. – IDA [article ID]: 0901306060. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/60.pdf>, 1,312 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,266

17. Трунев А.П., Луценко Е.В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ влияния факторов космической среды на ноосферу, магнитосферу и литосферу Земли: Под науч. ред. д.т.н., проф. В.И.Лойко. Монография (научное издание). – Краснодар, КубГАУ. 2012. – 480 с. ISBN 978-5-94672-519-4

18. Луценко Е.В. Коэффициент эмерджентности классических и квантовых статистических систем / Е.В. Луценко, А.П. Трунев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №06(090). С. 215 – 236. – IDA [article ID]: 0901306014. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/14.pdf>, 1,375 у.п.л., импакт-фактор РИНЦ=0,266